สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

การดำเนินการวิจัย

4.1 แผนการวิจัย

การวิจัยทั้งหมดได้กระทำที่ห้องปฏิบัติการ ของภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย การวิจัยกระทำโดยใช้ถังปฏิกิริยาไบโอดรัมจำนวน 1 ชุด การวิจัยในครั้งนี้แบ่งเป็น 2 ชุดใหญ่ๆ โดยใช้น้ำเสียที่มีน้ำตาลเป็นส่วนประกอบหลัก 2 ชนิด การวิจัยชุดแรกใช้น้ำเสียจาก โรงงานผลิตผลไม้แช่อิ่มและอบแห้ง และแบ่งเป็น 3 การทดลอง โดยการทดลองที่ 1 เริ่มที่ระดับออร์แกนิคโหลดดิง 4.00 ก.ซีโอดี / ตร.ม.- วัน และเวลาเก็บกักน้ำ 120 ชั่วโมง ส่วนการทดลองที่ 2 ได้เพิ่มระดับออร์แกนิคโหลดดิงเป็น 7.20 ก.ซีโอดี / ตร.ม.- วัน แต่ลดระยะเวลาเก็บกักน้ำลงเหลือ 60 ชั่วโมง และการทดลองที่ 3 ได้ลดระดับออร์แกนิคโหลดดิงลงเหลือ 3.57 ก.ซีโอดี / ตร.ม.- วัน ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการทดลองที่ 1 แต่มีเวลาเก็บกักน้ำน้อยกว่าคือ 40 ชั่วโมง เพื่อเปรียบเทียบการทำงานของระบบภายใต้สภาวะที่มีระดับออร์แกนิคโหลดดิงใกล้เคียงกัน แต่มีเวลาเก็บกักน้ำต่างกัน ส่วนการวิจัยชุดที่ 2 แบ่งเป็น 2 การทดลอง โดยที่การทดลองที่ 1 ใช้น้ำเสียจากโรงงานผลิตผลไม้แช่อิ่มและอบแห้งเช่นเดียวกับการวิจัยชุดแรก แต่การทดลองที่ 2 ใช้น้ำเสียจากโรงงานผลิตลูกกวาดและยา ซึ่งทั้ง 2 การทดลองนี้ มีระดับออร์แกนิคโหลดดิงใกล้เคียงกัน และมีเวลาเก็บกักน้ำเท่ากัน คือ 1.90 และ 2.00 ก.ซีโอดี / ตร.ม.- วัน ตามลำดับ และเวลาเก็บกักน้ำ 60 ชั่วโมง เพื่อเปรียบเทียบการทำงานของระบบไบโอดรัม เมื่อมีระดับออร์แกนิคโหลดดิงใกล้เคียงกันและมีเวลาเก็บกักน้ำเท่ากัน แต่ใช้น้ำเสียต่างชนิดกัน สำหรับพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการวิจัยแสดงในตารางที่ 4.1 ส่วนรูปที่ 4.1 แสดง flow diagram ของระบบไบโอดรัม

พารามิเตอร์ที่ควบคุมให้มีค่าคงที่ตลอดทุกการทดลองมีดังนี้

ก. จำนวนรอบการหมุนของไบโอดรัม 24 รอบ / นาที หรือความเร็วขอบของไบโอดรัมที่ 15.83 เมตร / นาที

ข. ระยะจมน้ำของตัวกลางที่ 25 ของพื้นที่หน้าตัดไบโอดรัม

ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการวิจัย

พารามิเตอร์	การวิจัยชุดที่ 1			การวิจัยชุดที่ 2	
	การทดลองที่1	การทดลองที่2	การทดลองที่3	การทดลองที่1	การทดลองที่2
ชนิดของน้ำเสีย	น้ำเสีย A	น้ำเสีย A	น้ำเสีย A	น้ำเสีย A	น้ำเสีย B
อัตราไหลของน้ำเสีย (ล./วัน)	2	4	6	4	4
เวลาเก็บกักน้ำเสีย (ชั่วโมง)	120	60	40	60	60
ซีโอดีรวม (มก./ล.)	12,700	11,420	3,782	3,016	3,196
AOL (ก.ซีโอดี/ตร.ม.-วัน)					
- ทั้งระบบ	4.00	7.20	3.57	1.90	2.00
- 1 st stage	16.00	28.80	14.28	7.60	8.00
VOL (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)	1.60	2.88	1.43	0.76	0.81
พื้นที่ผิวของตัวกลาง (ตร.ม.)	6.36	6.36	6.36	6.36	6.36

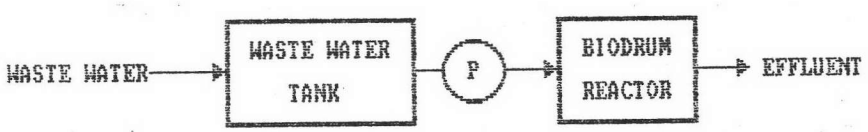
หมายเหตุ

AOL = Areal Organic Loading คิดเทียบจากพื้นที่ผิวของตัวกลาง

VOL = Volumetric Organic Loading คิดเทียบจากปริมาตรของไบโอดรัม

น้ำเสีย A = น้ำเสียจากโรงงานผลิตผลไม้แช่อิ่มและอบแห้ง

น้ำเสีย B = น้ำเสียจากโรงงานผลิตลูกกวาดและยา



รูปที่ 4.1 flow diagram ของระบบไบโอดรัม

พารามิเตอร์ที่เป็นตัวแปรเปลี่ยนตามที่วิเคราะห์ได้แก่

1. พีเอช (pH)
2. ตะกอนแขวนลอย (Suspened Solids , SS)
3. ซีโอดี (Chemical Oxygen Demend , COD)
4. ปริมาตรของตะกอนจุลชีพที่ทิ้งให้ตกตะกอนในกระบอกตวงขนาด 1 ลิตร เป็นเวลา 30 นาที
5. ออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen , DO)
6. โออาร์พี (Oxidation - Reduction Potential , ORP)
7. ความเป็นด่างรวม (Total Alkalinity , ALK)
8. เจลดัลไนโตรเจนรวม (Total Kjeldahl Nitrogen , TKN)
9. ฟอสฟอรัส (Phosphorus , P)

4.2 น้ำเสียที่ใช้ในการวิจัย

4.2.1 ลักษณะสมบัติของน้ำเสีย

น้ำเสียที่ใช้ในการวิจัย เป็นน้ำเสียจริง จัดเป็นน้ำเสียประเภทน้ำตาล โดยการวิจัยชุดแรก และการทดลองที่ 1 ของการวิจัยชุดที่ 2 ใช้น้ำเสียจากโรงงานผลิตผลไม้แช่อิ่ม และอบแห้ง ซึ่งทำการทดลองโดยไม่มีการปรับพีเอชของน้ำเสีย ลักษณะสมบัติของน้ำเสียชนิดนี้ ดังแสดงในตารางที่ 4.2 ซึ่งค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าที่ได้มาจากผลการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติ ของน้ำเสียที่เก็บมาจากโรงงานก่อนที่จะนำมาใช้ในการวิจัย ส่วนการทดลองที่ 2 ของการวิจัยชุดที่ 2 ใช้น้ำเสียจากโรงงานผลิตลูกกวาดและยา ซึ่งทางโรงงานมีการปรับพีเอชของน้ำเสีย โดยเติมปูนขาว (แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$)) ก่อนเข้าสู่ถังพักน้ำเสีย แต่ปรากฏว่าเมื่อนำน้ำเสียนี้มาใช้ในการวิจัย พีเอชของน้ำเสียกลับลดลงเหมือนเดิม เพราะเกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย โดยจุลชีพที่อยู่ในน้ำเสียนั้น ลักษณะสมบัติของน้ำเสียดังแสดงในตารางที่ 4.3 ซึ่งลักษณะสมบัติของน้ำเสียดังกล่าวนี้ เป็นค่าเฉลี่ยที่ได้มาจากการวิเคราะห์น้ำเสียในถังพักน้ำเสีย ภายในเดือนสิงหาคม 2530 ดังนั้นจึงถือได้ว่าน้ำเสียที่ใช้ในการวิจัยนี้เป็นน้ำเสียที่มีพีเอชต่ำและไม่ได้มีการปรับพีเอชของน้ำเสียก่อนทำการวิจัย ในการวิจัยทั้ง 2 ชุดนี้ ได้นำน้ำเสียดังกล่าวมาเจือจางกับน้ำประปา เพื่อให้มีค่าออร์แกนิคโหลดดิ้งที่ระดับต่างๆตามต้องการ ยกเว้นการทดลองที่ 1 ของการวิจัยชุดที่ 1 ไม่มีการเจือจางน้ำเสียก่อนการทดลอง

ตารางที่ 4.2 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียจากโรงงานผลิตผลไม้แช่อิ่ม และอบแห้ง

ลักษณะน้ำเสีย		ช่วง
พีเอช		3.6 - 4.7
ซีโอดี	(มก./ล.)	12,000 - 20,000
เจลดัลไนโตรเจนรวม	(มก.N/ล.)	2.2 - 4.0
ฟอสฟอรัส	(มก.P/ล.)	1.1 - 6.7

ตารางที่ 4.3 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียจากโรงงานผลิตลูกกวาดและยา

ลักษณะน้ำเสีย		ค่าเฉลี่ย
พีเอช		4.85
บีโอดี	(มก./ล.)	3,511
ซีโอดี	(มก./ล.)	4,835
เจลดัลไนโตรเจนรวม	(มก.N/ล.)	16.2
ฟอสฟอรัส	(มก.P/ล.)	141.7
ตะกอนแขวนลอย	(มก./ล.)	54
FOG	(มก./ล.)	3.4

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.2 ปริมาณอาหารเสริมสร้าง

ในการวิจัยชุดที่ 1 และการทดลองที่ 1 ของการวิจัยชุดที่ 2 น้ำเสียที่ใช้มีค่าไนโตรเจนและฟอสฟอรัสน้อยมาก ดังนั้นจึงต้องเติมอาหารเสริมสร้าง ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส โดยเติมไนโตรเจนในรูปของยูเรีย (NH_2CONH_2) และฟอสฟอรัสในรูปของไดโปตัสเซียมฟอสเฟต (K_2HPO_4) ส่วนการทดลองที่ 2 ของการวิจัยชุดที่ 2 เนื่องจากน้ำเสียที่ใช้มีค่าฟอสฟอรัสมากเกินพอแล้ว จึงเติมเฉพาะไนโตรเจนเป็นอาหารเสริม ซึ่งในการเติมไนโตรเจนและฟอสฟอรัสนี้ได้เตรียมเป็นสารละลาย และเติมแบบทีละเท (batch) ลงในตอนที่ 1 ของไบโอดรัม เพื่อป้องกันการเน่าของน้ำเสียก่อนสูบเข้าสู่ระบบไบโอดรัม ซึ่งอัตราส่วนของการเติมอาหารเสริมสร้างนี้ และอัตราส่วนของซีโอดีต่อไนโตรเจนและฟอสฟอรัสของน้ำเสียทั้ง 2 ชนิด (คิดจากค่าเฉลี่ยของซีโอดีรวม , ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสของน้ำเสีย) ดังแสดงในตาราง ที่ 4.4

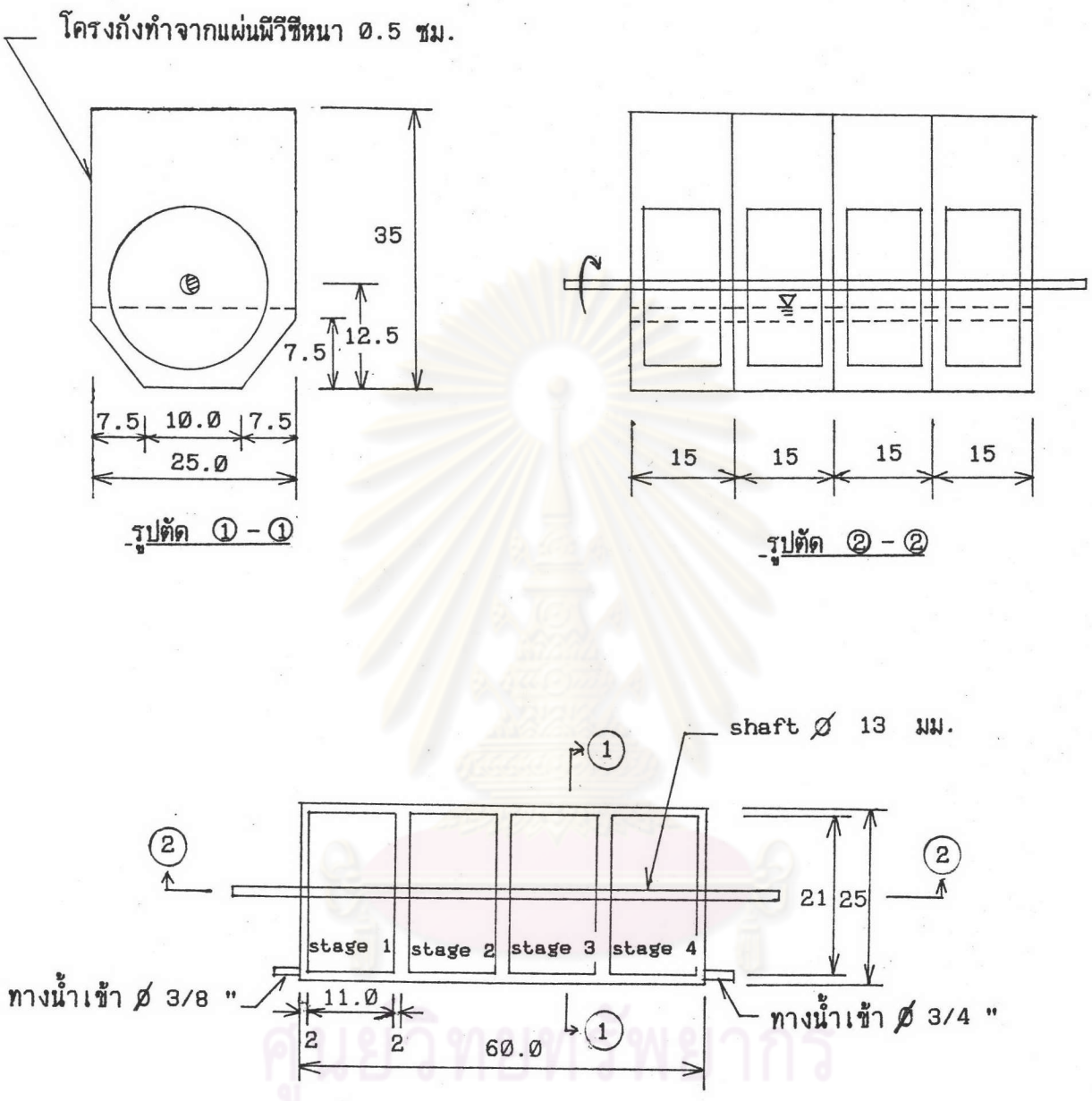
ตารางที่ 4.4 อัตราส่วนของ COD : N : P ของน้ำเสียที่ใช้ในการวิจัย และอัตราส่วนของการเติมอาหารเสริมสร้างให้แก่น้ำเสีย

อัตราส่วน	การวิจัยชุดที่ 1				การวิจัยชุดที่ 2		
	น้ำเสีย A	การทดลองที่ 1	การทดลองที่ 2	การทดลองที่ 3	การทดลองที่ 1	น้ำเสีย B	การทดลองที่ 2
COD:N:P	100:0.02:0.02	-	-	-	-	100:0.34:2.93	-
COD:N:P ที่เติมให้ระบบ	-	100:2.5:0.5	100:2.5:0.5	100:2.5:0.5	100:2.5:0.5	-	100:2.5:0

4.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลอง

4.3.1 ถังปฏิกิริยาระบบไบโอดรัม (biodrum reactor)

รูปที่ 4.2 แสดงรายละเอียดของถังปฏิกิริยาที่ใช้ในการวิจัย ถังปฏิกิริยาทำด้วยแผ่นพีวีซีซึ่งมีความหนา 5 มม. ขนาดกว้าง 25 ซม. ยาว 60 ซม. สูง 35 ซม. ภายในถังปฏิกิริยาจะถูกแบ่งออกเป็นตอนๆ จำนวน 4 ตอน แต่ละตอนกว้าง 15 ซม. ในแต่ละตอนจะมี



รูปที่ 4.2 รายละเอียดของถังปฏิกิริยาที่ใช้ในการวิจัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ไบโอดรัมอยู่ตอนละ 1 ตัว ส่วนเพลาซึ่งเห็นจากรูปนี้จะทะลุผ่านจุดศูนย์กลางของไบโอดรัมทั้ง 4 ตัว และผนังกั้นพีวีซีของแต่ละตอน ส่วนรูปที่ 4.3 แสดงรายละเอียดของไบโอดรัมที่ใช้ในการวิจัยนี้ ไบโอดรัมแต่ละตัวมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 21 ซม. กว้าง 11 ซม. หมุนด้วยความเร็วรอบ 24 รอบ / นาที ซึ่งคิดเป็นความเร็วขอบ 15.83 ม. / นาที ภายในไบโอดรัมบรรจุ (packed) ด้วกลางพลาสติก เมื่อทดลองหาปริมาณน้ำเสียภายในถังปฏิกิริยาขณะไบโอดรัมยังไม่หมุน น้ำเสียจะมีปริมาณ 6.25 ล. แต่เมื่อหมุนไบโอดรัม ระดับน้ำเสียในถังปฏิกิริยาจะลดลงเนื่องจากน้ำเสียส่วนหนึ่งถูกเก็บไว้ในไบโอดรัม จึงต้องเติมน้ำเสียลงไปอีกให้มีระดับเท่าเดิมก่อนหมุนไบโอดรัม ปริมาณน้ำเสียที่เติมลงไปอีกคือ 3.75 ล. ดังนั้นปริมาณน้ำเสียรวมขณะหมุนไบโอดรัมมีค่า 10 ล. แสดงว่าน้ำเสียที่ถูกเก็บไว้ในไบโอดรัมมีปริมาณ 3.75 ล. คิดเป็น 37.5 % ของปริมาณน้ำเสียรวมทั้งหมดในขณะหมุนไบโอดรัม และ 27 % ของปริมาตรน้ำที่จะเก็บไว้ได้ในช่องว่างทั้งหมดของไบโอดรัม

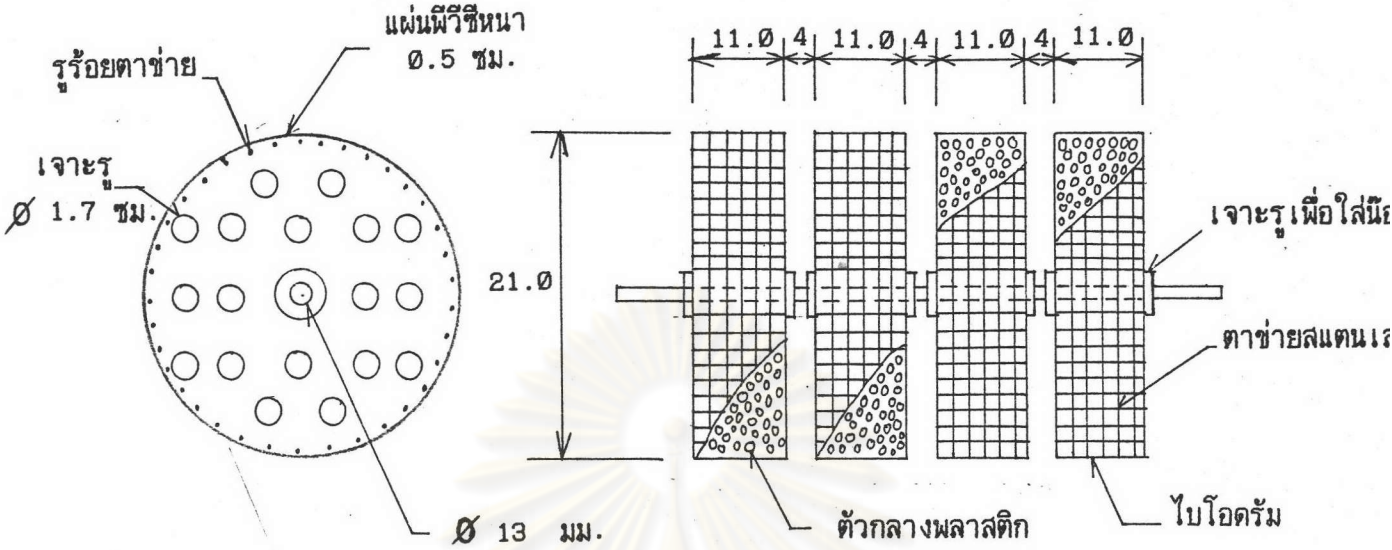
4.3.2 <u>ตัวกลางพลาสติก</u> (plastic media)

รูปที่ 4.4 แสดงรายละเอียดของตัวกลางพลาสติก ตัวกลางพลาสติกที่ใช้คือฝาจุกพลาสติก ซึ่งทำจากโพลีเอททีลีน (polyethylene) ภายในไบโอดรัมแต่ละตอนบรรจุฝาจุกพลาสติกจำนวน 894 อัน ตัวกลางพลาสติกที่ใช้มีคุณสมบัติดังแสดงในตารางที่ 4.5 ซึ่งวิธีการคำนวณคุณสมบัติต่างๆของตัวกลาง ได้แสดงอยู่ในภาคผนวก ก.

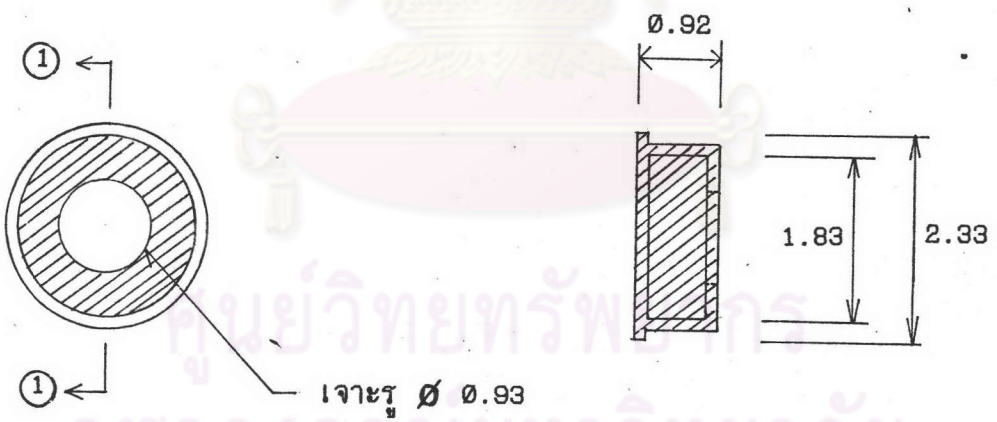
ตารางที่ 4.5 คุณสมบัติของตัวกลางพลาสติกที่ใช้ในการวิจัย

คุณสมบัติ	
ความพรุน (porosity) , %	85.5
จำนวนฝาจุกพลาสติกในแต่ละตอน , อัน	894
พื้นที่ผิวของตัวกลางในแต่ละตอน , ม.^{2}	1.59
พื้นที่ผิวรวมของตัวกลางทั้งระบบ , ม.^{2}	6.36
จำนวนฝาจุกเฉลี่ยในปริมาตร 1 ลิตร , อัน	225
ปริมาตรของตัวกลางในไบโอดรัมแต่ละตอน , ลิตร	3.97
พื้นที่ผิวจำเพาะ (specific surface area) , ม.^{2}/ม.^{3}	400

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.3 รายละเอียดของไบโอดรัมที่ใช้ในการวิจัย



แปลน

รูปตัด 1 - 1

- not to scale

- หน่วยเป็น ซม. นอกจากระบุเป็นอื่น

รูปที่ 4.4 รายละเอียดของตัวกลางพลาสติก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.3 ถังพักน้ำเสีย

ถังพักน้ำเสียมีความจุน้ำเสียได้ 10 ลิตร อุณหภูมิของน้ำเสียจะแปรเปลี่ยนตามอุณหภูมิบรรยากาศ และไม่มีใบกวนน้ำเสียภายในถังพักน้ำเสีย

4.3.4 เครื่องสูบน้ำชนิดรีดสาย (peristaltic pump)

การป้อนน้ำเสียเข้าสู่ถังปฏิกิริยา จะใช้เครื่องสูบน้ำชนิดรีดสายของบริษัท Watson - Marlow จากประเทศอังกฤษ รุ่น 502 S โดยเดินเครื่องวันละ 24 ชั่วโมง

4.4 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ

4.4.1 การเก็บตัวอย่างน้ำเสีย

การเก็บตัวอย่างน้ำเสียจะเก็บจากน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ น้ำเสียในถังปฏิกิริยา และน้ำทิ้ง ซึ่งน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ จะเก็บตัวอย่างน้ำจากถังพักน้ำเสียทันทีที่เตรียมน้ำเสียเสร็จ ส่วนน้ำเสียในถังปฏิกิริยาจะมีจุดเก็บ 4 จุดด้วยกัน คือ จะเก็บจากถังปฏิกิริยาตอนที่ 1 , 2 , 3 และ 4 ตามลำดับ สำหรับน้ำทิ้งจะเก็บจากน้ำทิ้งที่ออกจากถังปฏิกิริยา การเก็บตัวอย่างน้ำจะเก็บวันละ 1 ครั้ง แล้วนำไปวิเคราะห์หาค่าต่างๆทันที ซึ่งแผนการเก็บและการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำดังแสดงในตารางที่ 4.6 และในช่วง steady state จะทำการวิเคราะห์ตัวแปรเปลี่ยนตามทุกตัวติดต่อกันเป็นเวลา 3 วัน

4.4.2 เทคนิคการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ

วิธีวิเคราะห์ลักษณะทางเคมี และทางกายภาพของน้ำมีดังนี้

1. การวิเคราะห์หาค่า ซีโอดี จะใช้วิธี closed reflux , titration method ตามหนังสือ Standard Method (17) ค่าที่ได้มีหน่วยเป็น มก./ล.

2. การวิเคราะห์หาค่า ตะกอนแขวนลอย จะใช้วิธี gravimetric method ตามหนังสือ Standard Method ค่าที่ได้มีหน่วยเป็น มก./ล.

3. การวิเคราะห์หาค่า ความเป็นด่าง จะใช้วิธี potentiometric titration method ตามหนังสือ Standard Method ค่าที่ได้มีหน่วยเป็น มก./ล.$CaCO_3$

4. การวิเคราะห์หาค่า เจลดัลไนโตรเจนรวม จะใช้วิธี Kjeldahl method ตามหนังสือ Standard Method ค่าที่ได้มีหน่วยเป็น มก./ล.ไนโตรเจน

5. การวิเคราะห์หาค่า ฟอสฟอรัสจะใช้วิธี ascorbic acid method ตามหนังสือ Standard Method ค่าที่ได้มีหน่วยเป็น มก./ล.ฟอสฟอรัส

6. การวิเคราะห์หาค่า พีเอช ทำได้โดยใช้เครื่องวัดพีเอชของ Beckman

7. การวิเคราะห์หาค่า โออาร์พี ทำโดยใช้เครื่องวัดโออาร์พี ของ Beckman โดยใช้ Platinum electrodes และ Siver - Siver chloride reference electrod ค่าที่ได้มีหน่วยเป็น มิลลิโวลท์ (mV)

8. การวิเคราะห์หาค่า ดีโอ ทำโดยใช้เครื่องวัดดีโอ ของ Yellow Springs Instrument Co., Inc. model 51 B ค่าที่ได้มีหน่วยเป็น มก./ล.

9. การวิเคราะห์หาค่า V_{30} วิเคราะห์ตามหนังสือ Standard Method ค่าที่ได้มีหน่วยเป็น มล./ล.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.6 แผนการเก็บและการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ

ตัวแปรเปลี่ยนตาม	ตำแหน่งของการเก็บตัวอย่างน้ำ					
	น้ำเข้า	ตอนที่ 1	ตอนที่ 2	ตอนที่ 3	ตอนที่ 4	น้ำทิ้ง
พีเอช	A	A	A	A	A	-
ออกซิเจนละลายน้ำ	-	A	A	A	A	-
V_{30}	-	A	A	A	A	-
โออาร์พี	-	A	A	A	A	-
total COD	B	-	-	-	-	-
filtered COD (*)	B	B	B	B	B	B
ตะกอนแขวนลอย	B	B	B	B	B	B
เจลดัลไนโตรเจนรวม (*)	-	C	-	-	C	-
ฟอสฟอรัส (*)	-	C	-	-	C	-
ความเป็นด่างรวม	-	-	-	-	-	C

หมายเหตุ

A = ตัวแปรเปลี่ยนตามที่วิเคราะห์สัปดาห์ละ 5 ครั้ง

B = ตัวแปรเปลี่ยนตามที่วิเคราะห์สัปดาห์ละ 3 ครั้ง

C = ตัวแปรเปลี่ยนตามที่วิเคราะห์สัปดาห์ละ 1 ครั้ง

(*) = ตัวอย่างน้ำที่ผ่านการกรองแล้ว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย